

## **BUILDING OPTISIM, OPTIMIZADOR NZEB.**

**Pau Fonseca i Casas**

**Màxim Colls**

**Josep Casanovas**

*Universitat Politècnica de Catalunya*

*LIAM-LCFIB*

**Antoni Fonseca i Casas**

**Nuria Garrido**

*Universitat Politècnica de Catalunya*

*SUMM LAB*

### **RESUMEN**

*La simulación de la demanda energética de un edificio es una tarea compleja debido principalmente a dos factores clave. En primer lugar, es necesario definir la física y las complejas relaciones entre todos los elementos que pertenecen al modelo. En segundo lugar, es necesario entender estas relaciones por un equipo que normalmente está compuesto por personal con experiencia y formación diferente. En este trabajo, proponemos el uso de un lenguaje formal para representar el comportamiento dinámico de un modelo que representa todo el ciclo de vida de un edificio (diseño, construcción, uso-mantenimiento y deconstrucción), y técnicas de co-simulación para combinar motores de simulación diferentes y obtener lo mejor de cada uno. Se presenta un modelo de sostenibilidad, Building OptiSim, de tal manera que permite obtener una solución óptima. El edificio que utilizamos para realizar la simulación es la construcción LOW 3, proyecto presentado en el concurso Solar Decathlon 2010, por la ETSAV (UPC).*

**Palabras clave:** optimización; edificación sostenible; simulación; eficiencia energética

**Área temática:** Eficiencia energética en edificación y rehabilitación.

### **INTRODUCCION**

Cuando tratamos con sistemas complejos a menudo es necesario combinar varios modelos que representan diferentes partes del sistema. La combinación de estas diferentes piezas puede hacerse usando técnicas diferentes dependiendo del modelo que tenemos que combinar. Suponiendo que no todos los modelos se expresan en un mismo formalismo, (Vangheluwe, 2000) propone tres mecanismos principales para ello. El primer mecanismo, meta-formalismo se basa en la idea que un formalismo subsume los formalismos de los diferentes submodelos que componen la representación del sistema. El segundo mecanismo se basa en la transformación de los diferentes modelos a un formalismo común. El tercer enfoque es co-simulation, donde simuladores independientes trabajan juntos. Obviamente, en este caso la representación de los sub modelos diferentes no importa, ya que estamos analizando simplemente las entradas y las salidas de cada submodelo.

En nuestro enfoque queremos utilizar energyPlus (Energy, 2011) como motor de simulación para la demanda energética del edificio y combinarlo con una base de datos existente para obtener el consumo y los impactos medio ambientales, económicos y sociales. En nuestro modelo, no queremos representar un solo año, sino toda la vida del edificio. También queremos definir otros aspectos, relacionados con el impacto ambiental de la construcción, el uso y la deconstrucción del edificio.

Con estas consideraciones, es necesario definir una infraestructura que permita desarrollar esta co-simulation. Principalmente, co-simulación significa simulación cooperativa, podría considerarse una metodología que permite simular simultáneamente diferentes componentes individuales. Cada uno de estos componentes puede ser definido y aplicado en diferentes plataformas e infraestructuras y compartir información entre ellos de manera colaborativa. Varios enfoques pueden utilizarse aquí, para nuestra conveniencia seleccionamos *Specification and Description Language* (SDL) (Doldi, 2003) (Doldi, 2001) (IEC International Engineering Consortium, 2000) (Telecommunication standardization sector of ITU, 1999) como una columna vertebral para combinar los distintos elementos en una simulación única y coherente. Como podemos ver a continuación, el modelo definido en SDL define la corriente principal del modelo, detallando lo que debe ser ejecutado cada vez y que permite combinar, en un modelo único diferentes simuladores, gracias a la estructura del lenguaje, pueden ser ejecutados en paralelo si es necesario. Para implementar nuestro modelo utilizamos SDLPS (Fonseca i Casas, 2008), un simulador que entiende DEVS y SDL. SDLPS permite una simulación distribuida de los modelos de implementación de un protocolo similar de los definidos en el tiempo de ejecución infraestructura de alto nivel arquitectura (HLA) (IEEE Computer Society, 2000) (IEEE, 2000) (Anon, 2009), pero según el enfoque SDL. En este artículo no estamos explorando los detalles del protocolo y la implementación que permite la ejecución distribuida de los modelos, nos estamos centrando en la descripción de la herramienta.

Como hemos dicho anteriormente en nuestro enfoque estamos utilizando energyPlus para simular la demanda energética del edificio y combinarlo con una base de datos existente para obtener el consumo de energía y medio ambiente, economía y los impactos sociales. El edificio que es el objeto de nuestro estudio es la LOW3, edificio baja energía + bajo impacto + bajo coste (Low3, 2010), **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Seleccionamos este edificio porque tenemos un conjunto completo de datos de este edificio, que permite la verificación de los datos que nosotros estamos obteniendo de nuestro simulador. Comparamos nuestro modelo de salida con Bioclim, software comercial (Energy, 2011). Esto nos permitió detectar errores en los mecanismos de co-simulation o en la definición del modelo SDL que rige el comportamiento general del simulador.

**Figura 4: LOW3 - Solar Decathlon Europe 2010, Madrid (1er Premio).**



## 1. OBJETIVOS

El simulador Building OptiSim da respuesta a las directivas 93/76/CE en un primer momento y las 2002/91/CE y 2010/31/CE, relativas a la eficiencia energética de los edificios, las cuales nos proponen que en el año 2020, se tendrá que reducir las emisiones en un 20%, aumentar las renovables en un 20% y reducir el consumo energético en un 20%.

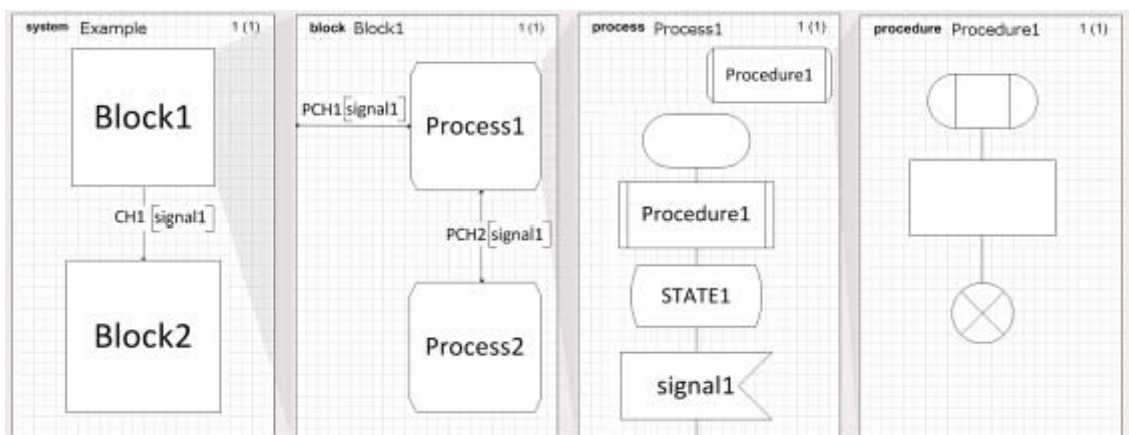
El objetivo es desarrollar un simulador que permita reducir al máximo la demanda energética necesaria para conseguir el confort interior, siempre utilizando sistemas bioclimáticos pasivos. Mediante el caso de estudio LOW3, se quiere comprobar que la metodología sea correcta, para poder ser aplicada a otros casos.

## 2. METODOLOGÍA

El uso de SDL lenguaje nos da la máxima flexibilidad para integrar nuevos procesos y procedimientos al sistema. La simulación propuesta analiza la sostenibilidad en sus tres aspectos: ambiental, económico y social, y también tiene en cuenta los residuos generados por el sistema y la compensación (energía) necesaria para estudiar el prototipo, que se convierte en un NZEB (Net Zero Energy Building). Además, podemos modificar el clima datos para cada nuevo año analizados.

SDL es un lenguaje formal orientado diseñado para la especificación de sistemas complejos orientados en el evento, en tiempo real e interactivos. SDL se basa en la definición de cuatro niveles para describir la estructura y el comportamiento de los modelos: sistema, bloques, procesos y procedimientos. En SDL *bloques* y *procesos* se denominan *agentes*. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra esta jerarquía de niveles.

**Figura 5: Una visión estructural de un modelo SDL.**



### ESTRUCTURA DEL MODELO

La estructura del modelo se describe principalmente por el diagrama de sistema y los diagramas de bloques. En el diagrama de sistema se describen los principales elementos de nuestro modelo y las principales interacciones entre los componentes principales.

En este diagrama (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se representa aquellos componentes que van a ser considerados en el modelo y la definición de las hipótesis que utilizamos en forma gráfica. En este diagrama podemos ver principalmente cuatro bloques, *B1\_Environment*, que representa el entorno donde vive el edificio, *B1\_WasteTreatment*, que representa los procesos necesarios para gestionar los residuos generados durante el ciclo de vida completo del edificio, *B1\_Compensation*, que representa los procesos necesarios para compensar las demandas energéticas del edificio, y finalmente *B1\_Building*, que representa el edificio en su ciclo de vida completo.

Cada uno de los bloques del diagrama SDL puede ejecutarse en paralelo y puede representar un entorno de simulación completa que define sus interfaces a través de los canales y las señales utilizadas para realizar la comunicación. Es interesante presentar aquí el comportamiento de la construcción, representada por los procesos. En nuestro caso, nos centramos en los procesos relacionados con el bloque de *B1\_Building* (que representa el edificio). Este proceso representa el comportamiento del edificio. En nuestro análisis definimos cuatro Estados para la construcción de diseño, construcción, utilizados y destruidos. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la parte del proceso que describe el estado de la construcción (BUILD). En esta figura podemos ver el procedimiento de *S1\_demand* que permite el uso de Energy+ dentro del modelo de simulación. En la siguiente sección se detalla este procedimiento.

**Figura 6: diagrama de sistema SDL que detalla los componentes principales del modelo que hay que considerar en el estudio.**

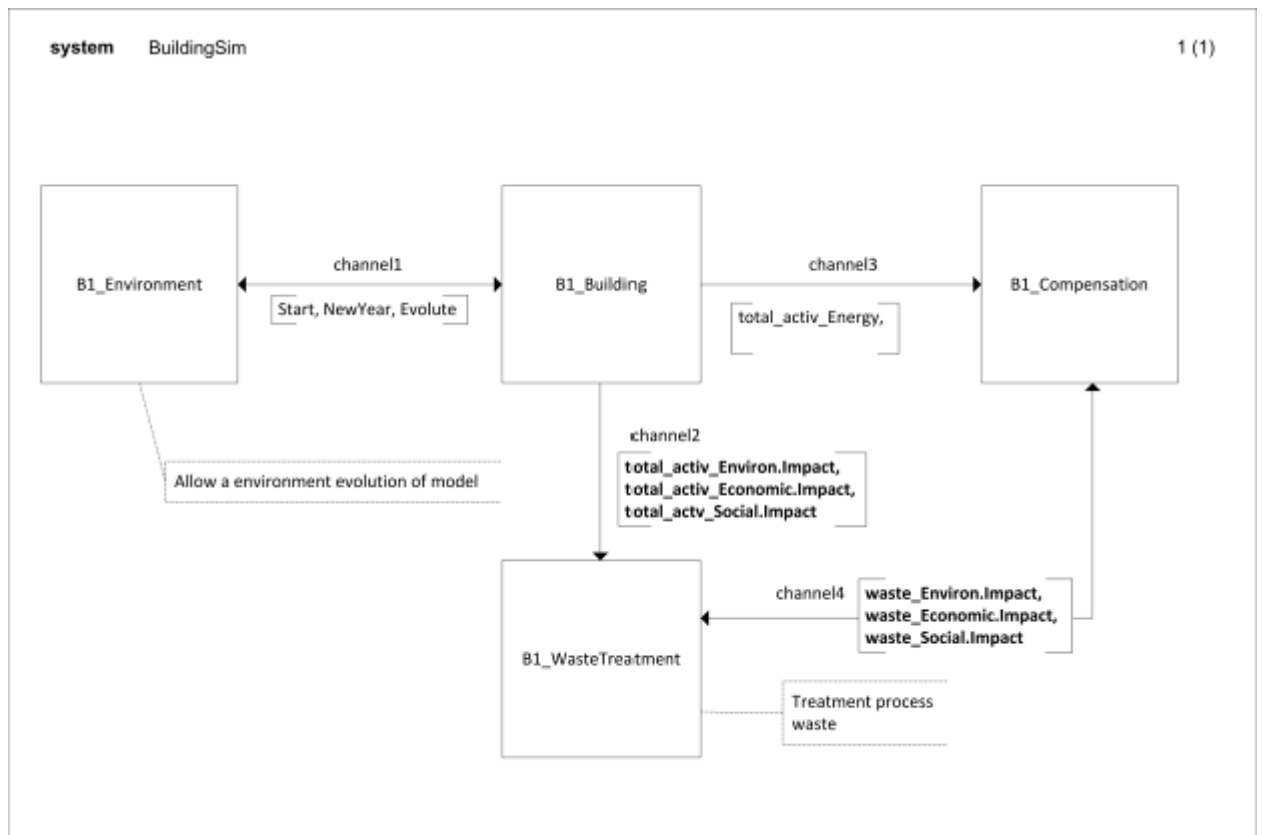
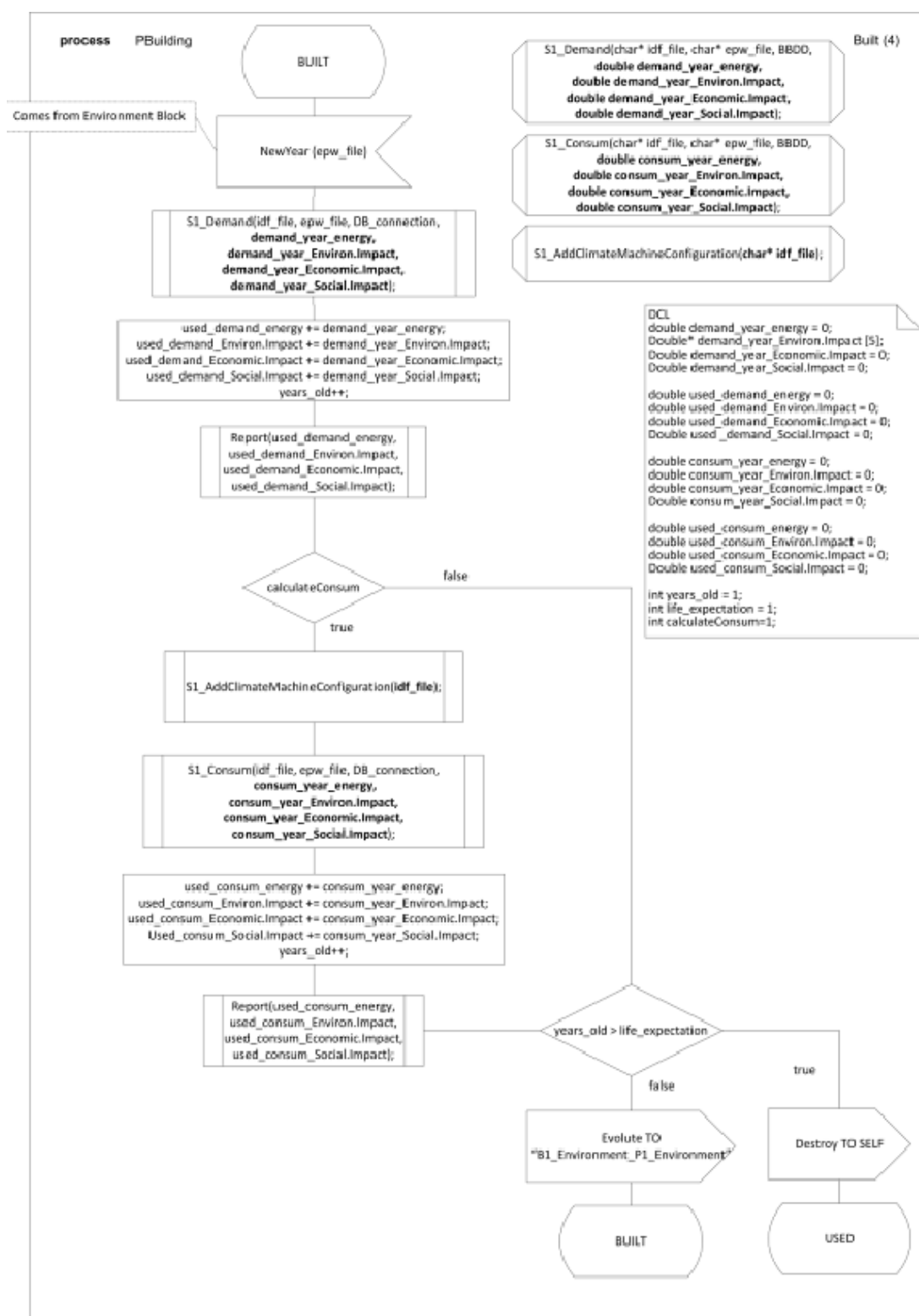


Figura 7: Proceso principal para la co-simulación del edificio LOW3.



Para obtener los resultados del modelo, SDLPS implementa un procedimiento denominado *Report*. Este procedimiento escribe la información en un archivo de traza, y permite para enviar esta información (usando TCP/IP) a *SDLPSEye*, un software que almacena toda la

información obtenida de un modelo de simulación. En la implementación actual, la traza resultante se puede representar directamente sobre una página web tal como se describirá a continuación.

### building OptiSim

Para parametrizar y ejecutar todo el modelo existe una aplicación web que enmascara todo el procedimiento. Esto permite que un usuario se conecte directamente a una página web y pueda parametrizar, configurar y ejecutar las simulaciones sin necesidad de entender toda la complejidad del proceso y centrándose únicamente en el problema que quiere resolver. En la siguiente figura, se muestra la pantalla principal de la aplicación que permite subir el idf que contiene la descripción completa del edificio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figure 8: Pantalla principal del OptiSim.

**BuildingSim** Home Solutions Mass Materials No Mass Materials Data Files Experiments RESULTS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Sustainability Measurement and Modeling Lab – SUMMLAB LCFIB

### Listing data files

[Import Data File](#)

ID	Name	Description	Original path	Data type	
7	Test2	This is a loooooong description talking about stuff.	public/data_files/7.idf	idf	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a>
27	Test1		public/data_files/27.idf	idf	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a>
28	Prova		public/data_files/28.idf	idf	<a href="#">Edit</a> <a href="#">Delete</a>

**CHARACTERISTICS of MODEL**

- ORIENTATION
- MATERIALS
- CONSTRUCTION
- THERMAL BRIDGES
- ZONES
- OCCUPANCY
- HVAC
- VENTILATION
- INFILTRATION
- INTERNAL CHARGES
- INTERNAL MASS
- WATER

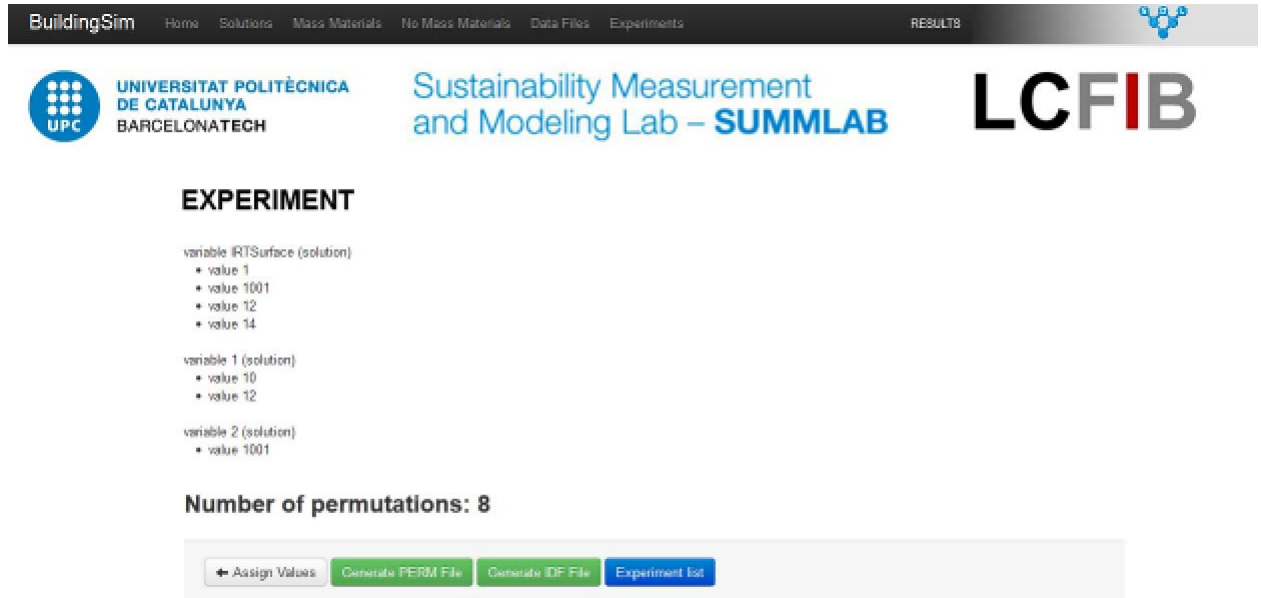
A partir de la estructura del edificio, el usuario puede parametrizar, entre otros elementos, diferentes zonas climáticas, los materiales que desea permutar para cada uno de los diferentes elementos constructivos del edificio (opacos y huecos) y varias tipologías de sistemas de clima activos (HVAC). En este proceso, el usuario podrá crear sus propias soluciones constructivas con las características específicas de cada material (necesarias para el cálculo).

Para ello primero tiene que crear un experimento, a partir del cual podrá permutar las diferentes variables. Este diseño factorial llevará a la definición de un conjunto de escenarios que se tendrán que simular para poder seleccionar cual de ellos es el que tiene el comportamiento óptimo. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden



ver los diferentes escenarios para un ejemplo, en este caso se ejecutarán 8 permutaciones diferentes sobre el modelo base.

**Figure 9: Definición de los diferentes escenarios a simular.**



## CASO DE ESTUDIO

Analizamos el caso del LOW3, proyecto prototipo presentado en el concurso del Solar Decathlon 2010, por la Escuela Superior de Arquitectura de Sant Cugat del Vallès (UPC).

La casa solar tiene como objetivo ser independiente de la necesidad energética activa, y, mediante el análisis del ciclo de vida de los materiales utilizados y, atendiendo a un concepto adaptable a cambios de usos, crea un nuevo concepto de vivienda sostenible.

El concepto bioclimático de bajo consumo energético se une a un bajo impacto ambiental del edificio durante su ciclo de vida, como a unas soluciones constructivas y tecnológicas de bajo coste, perfectibles en el transcurso de su vida útil.

El concepto LOW3 nace de LOW ENERGY + LOW IMPACT + LOW COST.

**LOW ENERGY:** En base a una arquitectura solar y gracias a la optimización bioclimática, se minimiza la demanda energética de la casa.

**LOW IMPACT:** el impacto ambiental se minimiza gracias al uso de materiales sostenibles y la alta eficiencia energética del proyecto. El objetivo es cerrar los ciclos de los materiales y agua.

**LOW COST:** gracias al uso de sistemas constructivos modulares y prefabricados que permiten versatilidad en toda su vida útil, se reduce el coste del proyecto.

## Resultados

El modelo que utilizamos para realizar las simulaciones se basa en un archivo de las IDF que representa la estructura del edificio (geometría, materiales, etc.). La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra una representación del modelo LOW3 utilizando Google



SketchUp y OpenStudio (National Laboratory of the U.S. Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2011).

**Figure 10: Edificio Low3 generado usando Google SketchUp y OpenStudio**



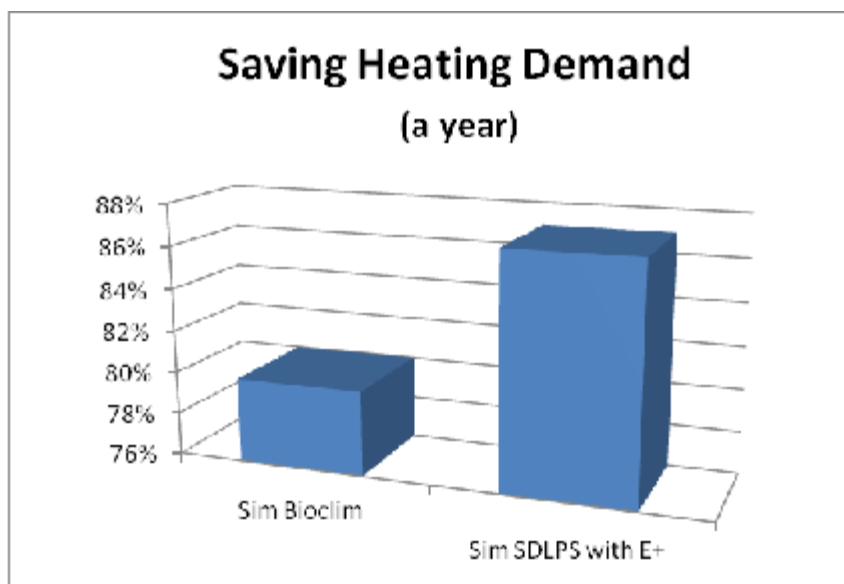
Durante el concurso Solar Decathlon se ha hecho una simulación del edificio LOW3. En ese caso utilizando el software Bioclim + Confie (Energy, 2011). En esta simulación, los resultados obtenidos muestran que el ahorro de energía es de alrededor del 80%. Este dato es coherente con los datos obtenidos en nuestro modelo. Para nuestras simulaciones también usamos un edificio de referencia, un edificio que tiene una superficie similar a la del LOW3 en la misma zona climática y con características constructivas convencionales.

Gracias al hecho de que nuestro modelo combina la potencia de Energy + y una base de datos de materiales, es posible ir más allá con el análisis, de tal manera que en el estado de construcción (BUILD), detectamos que la parte económica y ambiental tienen un impacto inferior si lo comparamos con los datos del edificio de referencia (IDAE, 2011).

En el estado de vida útil del edificio (uso y mantenimiento), es posible analizar al mismo tiempo (entre otros parámetros) los impactos económicos y ambientales.

Para los impactos ambientales y la demanda de energía, es posible ahorrar un 80% (y hasta un 90% o 95% con una buena gestión, una buena protección climática, la regulación del confort térmico, etc.). Utilizar Energy+s como motor de cálculo, nos permite obtener resultados más precisos que otros simuladores como Bioclim + Confie (dado que en la versión utilizada para el análisis del edificio LOW3, no se tiene en cuenta el flujo de humedad relativa y movimiento de aire), ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.8.**

**Figure 11: Diagram comparing savings on the heating demand.**



El costo económico, se encuentra que, en términos de consumo de energía, el modelo estudió ahorra más del 80% en comparación a la referencia edificio. Todo este análisis se realizaron por un 1 año de la demanda.

El edificio LOW3 puede definirse como un edificio NZEB ya que es capaz de compensar, a través de paneles fotovoltaicos incorporados en el techo, toda la energía necesaria para mantener la comodidad y suplir toda la potencia para hacer funcionar aparatos. En tales edificios la energía consumida, el impacto ambiental y el costo económico, a lo largo de su vida, se reduce al máximo. Además utiliza técnicas de reciclado para reusar los materiales y reducir el impacto ambiental producido en el proceso de la construcción en más de un 50%.

## CONCLUSIONES

La simulación de la sostenibilidad en edificios es un problema sumamente complejo porque se deben analizar los impactos ambientales, económicos y sociales al mismo tiempo. Además, estos tres campos interactúan entre ellos incrementado sensiblemente la complejidad de los modelos. Generalmente el arquitecto o ingeniero concentra sus esfuerzos para representar el mantenimiento y el uso del edificio y sólo toma en cuenta factores económicos o energéticos, sin tener en cuenta otros aspectos como el proceso de diseño, o la construcción y deconstrucción del edificio. Aunque una parte importante del tiempo se utiliza para representar el modelo de simulación del edificio, usualmente no se calcula el óptimo y sólo se analizan algunas configuraciones seleccionando la mejor solución entre ellas.

Existen varias herramientas especializadas que se pueden utilizar para obtener respuestas precisas sobre este tema, por ejemplo Energy+. Estas herramientas tienen deficiencias para describir el rendimiento de todo el ciclo de vida del edificio y necesitan tener acceso a múltiples bases de datos para obtener la información necesaria para realizar el estudio completo. Por lo tanto, el Building OptiSim, mediante la co-simulación se convierte en una herramienta interesante para responder a tales escenarios, realizando un estudio que describe

todas las fases de construcción e integra otros análisis relacionados.

Por otro lado, el SDL es un lenguaje gráfico completo y sin ambigüedades que puede utilizarse para implementar un entorno de co-simulation. Simplifica la interacción en el marco de un equipo multidisciplinario, es un lenguaje que es comprensible a todos los miembros del equipo y permite una visión de amplio alcance del proyecto. Por lo tanto SDL simplifica la interacción dentro de un equipo multidisciplinar, simplifica la validación del modelo, simplifica la verificación debido a la existencia de herramientas de simulación que entienden el lenguaje y minimiza los errores y el tiempo necesario para implementar las soluciones.

El presente modelo puede utilizar diferentes motores de cálculo, tales como Energy+, TRNSYS o Doe2, entre otros; el investigador puede elegir el motor más adecuado para el problema. El modelo permite ejecutar la simulación de forma distribuida dado que en el modelo es posible representar de forma explícita el paralelismo y la sincronización.

Este sistema de co-simulation se ha aplicado al prototipo de edificio (e) CO, en el marco del concurso Solar Decathlon 2012. El objetivo ha sido encontrar una solución óptima con respecto a la parametrización de las variables que definen la envolvente del edificio y por lo tanto, reducir al mínimo la demanda de energía necesaria para asegurar la comodidad de los residentes.

## AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias al soporte del grupo de investigación InLab FIB of Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTECH.

Muchas gracias al soporte del grupo de investigación LivingLab Low3, proyecto dirigido por Torsten Massek.

## REFERENCIAS

Anon., n.d. *IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA) - framework and rules*. [Online]

Available at:

[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?tp=&isnumber=19334&arnumber=893287&publisher=7179](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&isnumber=19334&arnumber=893287&publisher=7179)

[Accessed 12 May 2009].

Augeri, C., Morris, K. & Mullins, B., 2006. *Harvest: A Framework and Co-Simulation Environment for Analyzing Unmanned Aerial Vehicle Swarms*. Washington, DC, s.n., pp. 1 - 7.

Chen, B., Qiu, X.-g. & Huang, K.-d., 2010. *A General Framework Supporting Co-simulation for BOM and DEVS*. Sanya, Hainan, s.n., pp. 450 - 454.

Design Builder Software, 2005. *DesignBuilder*. [Online]

Available at: <http://www.designbuilder.co.uk/>

Doldi, L., 2001. *sdl illustrated - visually design executable models*. s.l.:TRANSMETH SUD OUEST.

Doldi, L., 2003. *Validation of Communications Systems with SDL: The Art of SDL Simulation and Reachability Analysis*. s.l.:John Wiley & Sons, Inc..

énergies, I., 2012. *Bioclim Software*. [Online]

Available at: <http://www.izuba.fr>

Energy, U. D. o., 2011. *EnergyPlus Energy Simulation Software*. [Online]

Available at: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

Fonseca i Casas, P., 2008. *SDL distributed simulator*. Miami, INFORMS.

Fonseca i Casas, P., 2011. *Simulation hypotheses*. Barcelona, s.n., pp. 122-127.

IDAE, 2011. *Residential sector consumption in Spain*, s.l.: s.n.

IEC International Engineering Consortium, 2000. *SDL Tutorial*. [Online]

Available at: <http://www.iec.org/online/tutorials/sdl/>

[Accessed January 2009].

IEEE Computer Society, 2000. *IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules*, s.l.: IEEE Computer Society.

IEEE, 2000. *IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Federate Interface Specification*. New York, NY 10016-5997, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc..

Low3, E., 2010. *Low3 - Prototip model SolarDecathlon*. [Online]

Available at: <http://www.low3.upc.edu/INTRO.html>

Monti, A. et al., 2009. *A Co-Simulation Approach for Analysing the Impact of the Communication Infrastructure in*. s.l., s.n., pp. 278-282.

National Laboratory of the U.S. Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2011. *OpenStudio*. [Online]

Available at: <http://openstudio.nrel.gov/>

PragmaDev SARL, 2006. *SDL-RT standard V2.2*, Paris: s.n.

Schmidt, D., 2006. Model-Driven Engineering. *IEEE Computer* 39 (2), 39(2), pp. 25-31.

Sung, C. H., Hong, J. H. & Kim, T. G., 2009. *Interoperation of DEVS models and differential equation models using HLA/RTI: hybrid simulation of engineering and engagement level models*. San Diego, California, Society for Computer Simulation International, pp. 150:1--150:6.

Telecommunication standardization sector of ITU, 1999. *Specification and Description Language (SDL)*. [Online]

Available at: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/index.html>

[Accessed April 2008].

Vangheluwe, H. L. M., 2000. *DEVS as a common denominator for multi-formalism hybrid systems modelling*. s.l., IEEE Computer Society Press, pp. 129--134.

Wikipedia, 2012. *Run Time Infrastructure*. [Online]

Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Run-Time\\_Infrastructure](http://en.wikipedia.org/wiki/Run-Time_Infrastructure)

[Accessed 23 March 2012].

Zhang, Z. et al., 2010. *COSMO : CO-Simulation with MATLAB and OMNeT ++ for Indoor Wireless Networks*. Miami, FL, IEEE, pp. 1-6.

## CORRESPONDENCIA

Nombre y apellido: Pau Fonseca i Casas

Phone: +34 93 401 77 32

FAX: +34 93 401 58 55

E-mail: [pau@fib.upc.edu](mailto:pau@fib.upc.edu)